

USO DE DRONES Y SENSORES REMOTOS PARA EL MONITOREO DE LADERAS: UNA REVISIÓN



AUTOR

LUIS FERNANDO ALONSO GOMEZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

PROFESIONAL EN INGENIERÍA CIVIL

Director:

SAIETH BAUDILIO CHAVEZ PABON

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA

INGENIERÍA CIVIL

CAJICA, 05 ABRIL 2021

Uso de drones y sensores remotos para el monitoreo de laderas: una revisión

Using drones and remote sensing for slope monitoring: a review

Luis Fernando Alonso Gómez ¹

¹Estudiante del Programa de Ingeniería Civil.
Facultad de Estudios a Distancia. Universidad
Militar Nueva Granada. E-mail:
d7303533@unimilitar.edu.co

Resumen

Los deslizamientos de tierra son uno de los peligros y riesgos más costoso y fatales para cualquier infraestructura vial, que frecuentemente amenazan e influyen en la situación socioeconómica, principalmente, de los países en vía de desarrollo. Frecuentemente, los estudios de deslizamiento se hacen de manera directa, in situ, siendo muchos de ellos costosos y un reto dada la dificultad que se pueden presentar al acceder a las zonas de estudio. Los datos de los sensores remotos se pueden usar en el monitoreo de deslizamientos de tierra, mapeo, simulación, predicción y evaluación de peligros y otras investigaciones. El presente artículo presenta una revisión bibliográfica en estudios relacionados con el uso de drones y sensores remotos para el seguimiento y monitoreo de laderas, de una manera descriptiva y que permita por medio de la documentación incorporar información

relevante para poder abordar futuros estudios más específicos que permitan tener en cuenta el monitoreo de deslizamientos de tierra, las técnicas de sensores remotos, drones y la aplicación global de este conjunto de nuevas tecnologías.

Palabras clave. Sensores remotos; drones; deslizamientos de tierra; detección; peligros naturales.

Abstract

Landslides are one of the most costly and fatal hazards and risks for any road infrastructure, often threatening and influencing the socio-economic situation mainly in developing countries. Landslide studies are often carried out directly on site, and many are costly and challenging given the difficulty of access to study areas. Remote sensing data can be used in landslide monitoring, mapping, simulation, hazard prediction and assessment, and other research. This article presents a literature review on studies related to the use of drones and remote sensing for slope tracking and monitoring, in a descriptive manner that allows through documentation to incorporate relevant information in order to address future more specific studies to take into account landslide monitoring, remote sensing techniques, drones and the global application of this set of new technologies.

Keywords. Remote sensing; drones; landslides; detection; natural hazards.

I. Introducción

El monitoreo o seguimiento de laderas debido a posibles deslizamientos de tierra hoy en día hacen surgir la necesidad de conocer el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan monitorear estos probables eventos (Flores, Saito, Paredes, & Trujillano, 2017). A través de los años, el desarrollo de la fotogrametría y sus aplicaciones, y la modernización de las técnicas de geoposicionamiento, han abierto las puertas para el avance en el estudio de nuevas metodologías de análisis espacial que pueden permitir integrar información y modelos de evaluación más eficientes (Xiang & Tian, 2011).

Por otra parte, se tienen los deslizamientos de tierra y fenómenos de remoción de masas en laderas, estabilizadas y no estabilizadas, que tienen un impacto significativo a nivel mundial (Garianoab & Guzzetti, 2016) (Petley, 2012, DOI: 10.1130/G33217.1). En comparación con otros peligros naturales, estos fenómenos naturales son unos de los peligros geológicos más costosos y fatales en términos de vidas humanas, que amenazan e influyen en las condiciones socioeconómicas de muchos países a nivel mundial (Barbarella & Fiani, 2013, <https://doi.org/10.5721/EuJRS20134608>) (Cheng, y otros, 2020, DOI: 10.1080/01431161.2019.1672904).

Un deslizamiento de tierra en laderas puede ser provocado por varios fenómenos naturales (p. Ej., Terremotos, lluvias torrenciales, tsunamis e inundaciones) y perturbaciones humanas (p. Ej., Deforestación, desarrollo de infraestructura por cortes de pendientes y presencia de cavidades subterráneas históricas)

(Alizadeh, Ngah, Hashim, Pradhan, & Pour, 2018, doi: 10.3390/rs10060975) (Wempen J. M., 2020). Por ejemplo, en los Estados Unidos, los deslizamientos de tierra causan aproximadamente \$ 3,5 mil millones en daños y matan entre 25 y 50 personas cada año (Wempen & McCarter, 2017). Además, solo en 2014, Nepal tuvo un deslizamiento de tierra en laderas en donde se contabilizó una gran pérdida de ganado, muy superior a las pérdidas de seres humanos, adicionalmente los daños en la infraestructura vial fue incontable perjudicando de manera irreversible a la economía del país (Dahal, Hasegawa, Masuda, & Yamanaka, 2006). Las fallas de las pendientes también provocan una importante sedimentación en los arroyos y lagos, lo que representó además una de las principales causas de inundaciones.

Los deslizamientos de tierra en laderas son comunes principalmente en las regiones montañosas, sobre todo si se tiene una pendiente inestable o se vuelve inestable debido a fuerzas impulsoras externas (Solar, y otros, 2018, <https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1413013>). El peligro de deslizamiento de tierra en laderas se puede clasificar en alto, moderado y bajo en función del volumen, la duración, el posible efecto en términos de distancia, área y velocidad a la que falla la pendiente. Dado que los deslizamientos de tierra en laderas pueden afectar negativamente las vidas humanas y las propiedades, es esencial monitorear, detectar, mapear y realizar análisis de peligros para reducir el impacto de su peligro y salvar vidas humanas, propiedades y el medio ambiente. Los mapas de susceptibilidad a los deslizamientos de tierra en laderas se

pueden desarrollar para las regiones propensas a los deslizamientos de tierra combinando todos los factores predisponentes potenciales que causan un deslizamiento de tierra en laderas.

La implementación de los Drones o VANT (Vehículos Aéreos No Tripulados) se utilizan cada vez más en actividades de investigación y en diferentes campos de aplicación, como la producción de cartografía (Koeva, Muneza, Gevaert, Gerke, & Nex, 2018, DOI: 10.1080/00396265.2016.1268756) (Nex & Remondino, 2014, doi: 10.1007 / s12518-013-0120-x), supervisión de obras civiles (Natsagdorj, 2017), seguimiento de la agricultura (Grenzdörffer & Niemeyer, 2011) (Pino, 2019) (Puri, Nayyar, & Raja, 2017), identificación de posibles zonas de riesgo (Ruiz E. & Ndomab, 2019) (Giordan, Manconi, Remondino, & Nex, DOI: 10.1080/19475705.2017.1315619), manejo de desastres (Choi & Lee, 2011, DOI: 10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-247-2011) (Molina P. , y otros, 2012), se han demostrado otros ejemplos de aplicaciones para el monitoreo de incendios forestales, como en el estudio de (Zarco-Tejada & Berni, 8-10 de febrero de 2012) quienes utilizaron un UAV de ala fija con sensores térmicos e hiperespectrales. También se han reportado experimentos para clasificación de árboles (Agüera, Carvajal, & Pérez, 2011), cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (Lucieer, Robinson, Turner, Harwin, & Kelcey, 2012) y monitoreo de temperaturas de arroyos (Costa, Ueyama, Braun, Pessin, Osório, & Vargas, 22-27 de julio de 2012). Lo anterior muestra la versatilidad del uso

de este tipo de tecnologías y su creciente aplicación en todos los renglones de la economía de un país, ofreciendo soluciones efectivas, de bajo costo, y de gran impacto.

En este documento se pretende analizar el uso de sensores remotos en trabajos de seguimiento y monitoreo de deslizamientos de tierra en laderas, sus técnicas y aplicaciones en estudios efectuados a nivel mundial.

II. Metodología

La investigación plantea la realización del estado del conocimiento sobre el uso de drones y sensores remotos para el seguimiento y monitoreo de laderas estabilizadas y no estabilizadas. Se pretende sentar bases de información adecuadas y pertinentes que corresponde a información recopilada de documentos sobre el manejo de los drones y los sensores remotos para el monitoreo de laderas o taludes. Describiendo las técnicas que se llevan a cabo para la prevención y mitigación de deslizamientos o inestabilidades que puedan presentarse en la generación de proyectos, que permita una aproximación más real de cómo operan los sensores y drones en las laderas de los taludes, y la importancia de estos instrumentos en las múltiples labores que demanda la Ingeniería Civil.

La metodología aplicada para esta investigación es de tipo documental (Concepción-Toledo, González-Suárez, García-Prado, & Miño-Valdés, 2019, [http://dx.doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2019.006\(01\)076-087](http://dx.doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2019.006(01)076-087)), descriptiva del estado del conocimiento de

investigaciones previas que aplican a casos de estudio sobre aplicaciones tomadas como ejemplo en el monitoreo de laderas con riesgo geológico en el desarrollo de la infraestructura vial.

III. Drones y el monitoreo de laderas

Drones o UAV (Unmanned Aerial Vehicles) o vehículos aéreos no tripulados, o alternatively como RPAS (Remotely Pilot Aircraft System) sistemas aéreos pilotados remotamente. La versatilidad de los DRONES en la actualidad, para la obtención de fotografías aéreas y la posibilidad de abarcar grandes extensiones en un recorrido, sumado al uso conjunto de los últimos adelantos y técnicas para fotogrametría digital, sirven para recolectar y procesar una gran cantidad de datos geométricos, cartográficos, geográficos y demás que permiten convertirlos en una herramienta importante para hacer prevención, dar una respuesta oportuna y una solución a los grandes problemas constructivos y de diseño en la ingeniería civil, prevención de catástrofes. En este documento se encontrará un estudio del conocimiento enfocado al posible uso que se podría realizar en Colombia. Para el monitoreo de laderas con riesgo geológico es un tema importante de estudiar. En cuanto a la Ingeniería Civil respecta, es importante resaltar el avance que se está teniendo en temas de desarrollo de la infraestructura vial y de obras hidráulicas de gran envergadura como son los proyectos de las vías 4G y las hidroeléctricas ubicadas en los ríos, Cauca, Magdalena y Samaná, donde el monitoreo de laderas, causas en ríos, deslaves, etc., son claves en la construcción de estas obras civiles.

La necesidad de hacer un seguimiento y un control efectivo de los deslizamientos de tierras en laderas de alta pendiente en infraestructura vial demanda de metodologías de fácil acceso con un costo sustancialmente bajo. Los Drones facilitan lo anterior debido a su capacidad de producir imágenes aéreas, de altas resoluciones en áreas de difícil acceso, que posteriormente serán procesados en ortomosaicos (Prokešová, Kardoš, & Medveová, 2010), los cuales serán georreferenciados y posicionados en el terreno a través de las observaciones satelitales (Lucieer, Turner, King, & Robinson, 2014), de acuerdo a (Chávez, García, Pérez, & Carreño, 2015), se pueden obtener MDT (Modelos Digitales del Terreno) que pueden ser creados en intervalos de tiempo determinados para su posterior comparación con el comportamiento de las laderas que posiblemente se puedan investigar o estudiar (Carvajal, Agüera, & Pérez, 2012), asimismo, se podrán hacer correlaciones con los desplazamientos (Manfreda & al., 2018), para así poder obtener características geomorfológicas y climáticas (Niethammer, A, & Travelletti, 2010).

De acuerdo con (Giordan, Manconi, Remondino, & Nex, DOI: 10.1080/19475705.2017.1315619), se evidencia que el desarrollo reciente de UAV (Unmanned Aerial System) ha aumentado el número de soluciones técnicas que se pueden utilizar para monitorear y mapear los efectos de los peligros naturales. Para (Taddese B. & Burud, 2018, DOI: 10.1080/22797254.2018.1432993), los UAV son generalmente más económicos y más versátiles que las técnicas tradicionales de teledetección y, por lo tanto, se pueden

considerar como una buena alternativa para la adquisición de imágenes y otros parámetros físicos antes, durante y después de un evento de amenaza natural. Este es un valor agregado importante, especialmente para investigaciones en áreas pequeñas.

En este contexto, los Drones o UAV ofrecen una resolución espacial sin precedentes y nuevas oportunidades de mapeo a escalas locales (Boccardo, Chiabrando, Dutto, Tonolo, & Lingua, 2015), donde la exploración cubre unos pocos kilómetros cuadrados y el uso de plataformas aéreas o satelitales podrían considerarse demasiado costosas. Además, (Silvagni, Tonoli, Zenerino, & Chiaberge, 2017, DOI: 10.1080/19475705.2016.1238852)

menciona que los UAV presentan varias ventajas, que incluyen: (1) la capacidad de volar a bajas altitudes (menos de 150 m sobre el nivel del suelo), (2) la capacidad de llegar a ubicaciones remotas y capturar imágenes de alta resolución, (3) la capacidad para alojar diferentes sensores (cámaras, escáneres láser, sensores de navegación / inerciales, etc.), (4) la posibilidad de adquirir imágenes con diferentes ángulos, y (5) la flexibilidad de realizar operaciones de monitorización a pequeña, mediana y gran escala. También por estas razones, las plataformas UAV se utilizan comúnmente para la asistencia y gestión de emergencias. Por ejemplo, los UAV pueden proporcionar rápidamente información sobre edificios derrumbados después de un terremoto, como se puede evidenciar en estudios de (Murphy, Steimle, Griffin, Cullins, Sala, & Pratt, 2008, <https://doi.org/10.1002/rob.20235>) (Pratt, Murphy, Stover, & Griffin, 2009) (Chou,

Yeh, Chen, & Chen, 2010) (Molina P. , y otros, August 25 - September 1, 2012).

Como se mencionó anteriormente, una de las características más útiles de los UAV es la posibilidad de adquirir bajo demanda un conjunto de datos de un área limitada (Koeva, Muneza, Gevaert, Gerke, & Nex, 2018, DOI: 10.1080/00396265.2016.1268756) (Nex & Remondino, 2014, doi: 10.1007 / s12518-013-0120-x). Esto es particularmente relevante cuando estos sistemas se adoptan para obtener información valiosa sobre un entorno particular y / o proceso geomorfológico. En los procesos que representan posibles riesgos geológicos, los efectos de la evolución de un proceso geológico y/o geomorfológico a menudo se pueden lograr mediante la comparación de información previa y posterior al evento en el área de estudio. En el pasado, este enfoque a menudo se apoyaba en el uso de LiDAR terrestres como se puede evidenciar en estudios de (Baldo, Bicocchi, Chiocchini, Giordan, & Lollino, 2009) o aerotransportados como se pueden apreciar en la investigación de (Nissen, Krishnan, Arrowsmith, & Saripalli, 2012), pero la introducción de UAV representa hoy en día una alternativa valiosa para una adquisición multitemporal de conjuntos de datos que se pueden utilizar para el estudio de los peligros naturales, como efectivamente son los deslizamientos de tierras en laderas.

Para aplicaciones fotogramétricas, la carga útil de todo el sistema está compuesta por una cámara, un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) y una Unidad de Medición Inercial (Colomina & Molina, 2014, doi: 10.1016 /

j.isprsjprs.2014.02.013). La cámara toma imágenes superpuestas mientras vuela sobre un área de estudio. Estas imágenes se pueden procesar a través de un flujo de trabajo fotogramétrico para obtener una nube de puntos o también conocido como Modelo Digital de Superficie, una ortofoto o un modelo 3D completo de la escena. Un dispositivo GNSS integrado permite georreferenciar estos datos. Sin embargo, en el contexto de los UAV de bajo costo, la precisión de dicho GNSS suele ser limitada (Meinen & Robinson, 2020, DOI: 10.1080 / 01431161.2019.1597294), por lo tanto, los Puntos de Control Terrestre (GCP, por sus siglas en Inglés) suplementarios generalmente se adquieren en el área de estudio, para mantener la precisión de la orientación del bloque de imágenes y los productos cartográficos derivados, como las ortofotos, y para facilitar su integración con otros datos espaciales. Estos GCP deben seleccionarse cuidadosamente y estar bien distribuidos, y deben ser visibles en muchas imágenes, así como fácilmente identificables en las imágenes después de la adquisición y medibles con tecnología precisa, como GNSS de grado topográfico.

IV. Sensores remotos

(Nikolakopoulos, y otros, 2017, DOI: 10.1080/22797254.2017.1324741) expresan que un deslizamiento de tierra en laderas, activo se puede monitorear utilizando diferentes métodos como: mediciones geotécnicas clásicas donde se utiliza el inclinómetro, mediciones de levantamientos topográficos con estaciones totales o receptores de Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS, por sus siglas en inglés), Sistemas de detección y

alcance de luz aerotransportada (LiDAR, por sus siglas en inglés), Escáneres Láser Terrestres (TLS, por sus siglas en inglés), técnicas fotogramétricas que utilizan fotografías aéreas o imágenes de satélite de alta resolución, Interferometría Diferencial utilizando imágenes de radar (DInSAR) y recientemente técnicas de visión por ordenador utilizando datos de UAV. (Wieczorek & Snyder, 2009) analizaron las ventajas y desventajas de utilizar estos diferentes métodos de detección.

Sin embargo, el método más reciente para el monitoreo de deslizamiento de tierra en laderas es la utilización de imágenes de ultra alta resolución capturadas desde UAV. (Lucieer A. D.) y (Nikolakopoulos & Sabatakakis, 2015, doi:10.1117/12.2195394) destacan que el uso de UAV con fines de investigación se ha vuelto posible y asequible debido a desarrollos tecnológicos como sistemas de piloto automático, cámaras de acción livianas, GNSS en miniatura, avances en fuselajes de fibra de carbono y el desarrollo simultáneo de nuevas metodologías de procesamiento basadas en visión por computadora como la Structure from Motion. Con la Structure from Motion se pueden obtener fotografías del objeto de interés con superposición suficiente (por ejemplo, 80-90%) desde múltiples posiciones y / o ángulos (Nikolakopoulos, y otros, 2017, DOI: 10.1080/22797254.2017.1324741). Varios estudios recientes también han demostrado el gran potencial de los algoritmos Structure from Motion para el mapeo y monitoreo de deslizamientos de tierra desde sensores ubicados en UAV (Niethammer, Rothmund, Schwaderer, Zeman, & Joswig, 2011, doi: 10.5194/isprsjprs-2011-013).

XXXVIII-1-C22-161-2011) (Lucieer A. D.) (Nikolakopoulos & Sabatakakis, 2015, doi:10.1117/12.2195394) (Turner, Lucieer, & De Jong). Se han publicado diferentes estudios que demuestran el uso de datos de UAV para el monitoreo de deslizamientos de tierra (Lin, Tao, Wang, & Huang, 2010, doi:10.1109/GEOINFORMATICS.2010.5567777) (Rau, Jhan, Lob, & Linb) (Turner, Lucieer, & De Jong). En un estudio de (Niethammer U. J., 2012, doi:10.1016/j.enggeo.2011.03.012), se evaluó la capacidad del UAV para obtener imágenes de fisuras y desplazamientos en la superficie del deslizamiento de tierra, y la precisión del DSM derivado de imágenes de UAV se comparó con un DSM creado a partir de TLS. (Stumpf, Malet, Kerle, Niethammer, & Rothmund, 2013, doi:10.1016/j.geomorph.2012.12.010) utilizaron diversos sistemas de imágenes y vehículos aéreos no tripulados, entre otras plataformas aerotransportadas, para adquirir imágenes de muy alta resolución del deslizamiento de lodo Super-Sauze en la cuenca de Barcelonnette en los Alpes franceses del sur en cinco fechas diferentes. Según (Barbarella & Fiani, 2013, <https://doi.org/10.5721/EuJRS20134608>), en el análisis de la evolución temporal de los deslizamientos de tierra y de los peligros hidrogeológicos relacionados, el TLS parece ser una técnica muy adecuada para la descripción morfológica y el análisis de desplazamiento. Para (Pirotti, Guarnieri, & Vettore, 2013, doi:10.5721/EuJRS20134605) y (Slob & Hack), los TLS tienen la ventaja de proporcionar grandes cantidades de datos a alta resolución en muy poco tiempo, y

adicionalmente permiten una descripción precisa y detallada del área escaneada. De hecho, la técnica parece ser muy adecuada para las mediciones de deformación por deslizamientos de tierra, especialmente para terrenos de difícil acceso y pendientes pronunciadas, ya que la realización de múltiples levantamientos permiten una rápida adquisición de datos en 3D de la superficie del deslizamiento, en la investigación de (Jaboyedoff, y otros, 2012), se puede detallar esta técnica aplicada a los deslizamientos de tierra de laderas. Para la clasificación de los datos provenientes de los escáneres láser en clases de terreno y fuera del terreno, en el estudio de (Briese), se puede encontrar una descripción detallada de varios algoritmos de filtro desarrollados. A continuación, es necesario convertir los datos de puntos espaciados irregularmente en un DEM (Modelo Digital de Elevación) que se puede generar mediante métodos de interpolación apropiados (Kraus & Pfeifer, Available from:

<http://www.isprs.org/proceedings/xxxiv/3-w4/pdf/kraus.pdf>) (Vosselman & Sithole, 2004) (Pfeifer & Mandlbürger). La precisión, fiabilidad de un DEM, y su capacidad para representar fielmente la superficie depende tanto de la morfología del terreno como de la densidad de muestreo y del algoritmo de interpolación (Aguilar, Agüera, Aguilar, & Carvajal). Como manifiestan (Fiani & Siani, Sep 26 - Oct 01, Available from: <http://cipa.icomos.org/fileadmin/template/doc/TURIN/277.pdf>) y (Abellan, Jaboyedoff, Oppikofer, & Vilaplana, 2009), en sus investigaciones, si el objetivo del

estudio es monitorear la deformación del suelo a lo largo del tiempo, se deben comparar dos o más DEM para seguimiento de los desplazamientos de varios puntos del terreno. Por ejemplo, en el trabajo de (Ujike & Takagi, 2004, Available from: <http://www.aars.org/acrs/proceeding/ACR S2004/Papers/3LS04-4.htm>), se pueden comparar directamente los DEM obtenidos a lo largo del tiempo simplemente fijando un número de puntos pertenecientes a objetos particulares visibles en las dos nubes de puntos diferentes. Una ventaja que ofrecen los TLS, y que se evidencian en estudios de (Barbarella & Fiani, 2013, <https://doi.org/10.5721/EuJRS20134608>), (Castagnetti, Bertacchini, & Rivola, 2014, doi:10.1117/12.2067407) y (Spreafico, y otros, 2015, DOI: 10.5721/EuJRS20154835), es que es una técnica muy eficaz que proporciona gran cantidad de datos en poco tiempo y mejora la interpretación que se puede deducir de los cambios, y deformaciones en un deslizamiento de tierra de laderas. Sin embargo, (Martha, Kerle, Jetten, Van Westen, & Kumar) encontraron que los trabajos con esta técnica consumen bastante tiempo y se obtiene una cobertura espacial pobre, por ende, podría haber una la omisión de la estructura real del terreno a escala detallada en la consecución del Modelo Digital de Superficie (DSM). (Westoby, Brasington, Glasser, Hambrey, & Reynolds, 2012) Señalan que los TLS proporcionan nubes de puntos altamente densas y precisas, no obstante, el despliegue de estos estudios puede conllevar bastante tiempo y, algunas veces, se tornan difíciles de ejecutar cuando se tiene que bregar con terrenos muy empinados, mientras que con la tecnología LiDAR aerotransportado, el

trabajo de campo es más accesible pero muy costoso.

V. Conclusiones

Los resultados obtenidos en el estado de arte producto de la investigación dejan claro que los métodos tradicionales topográficos que hasta hace unos años se realizaban con mediciones y levantamiento de la información en laderas activas donde quedaban expuestos personal y equipos en el desarrollo de estos hoy en día fueron reemplazados por las nuevas tecnologías como sensores remotos en vehículos aéreos no tripulados con alto grado de precisión y resolución que se traduce en calidad, eficiencia, reducción de costos en los monitores de laderas activas (Campos, 2017).

El avance tecnológico de drones imponiéndose cada vez el de múltirotores o alas rotatorias permiten aumentar producción de datos, ajustar los costos, los tiempos, reducir la mano de obra y mayor resolución, exactitud, precisión y fiabilidad en las mediciones, mejor imagen de las mismas y mayores tiempos de autonomía de vuelo. El Drone ha sido uno de los avances de gran importancia sobretodo en la ingeniería civil ya que ha facilitado muchísimo la consecución de información, ha permitido llegar a sitios más alejados y de menor acceso, en menor tiempo y con el menor uso de recursos, su versatilidad ha permitido aplicarlo a gran variedad de tareas en la ingeniería proporcionando un avance significativo en las laborales de campo.

La aplicación del dron en el monitoreo de taludes ha sido una herramienta que ha

brindado la capacidad de ver lo que antes era difícil y tedioso, de medir en menor tiempo, de recrear situaciones para predecir y mejorar, para prevenir e incluso para lograr corregir de la mejor manera situaciones que antes solo eran corregibles una vez ocurrido el suceso.

La combinación del uso de drones y los últimos adelantos en fotogrametría nos brindan un paso gigantesco en la descripción de laderas y su caracterización, delimitación de áreas y volúmenes, así como el monitoreo de las mismas gracias a la calidad y exactitud de su información.

La nueva tecnología de UAV podría proporcionar una solución asequible para la realización de varios trabajos de campo incluso en terrenos con altas pendientes con el propósito de monitorear un deslizamiento de tierra de laderas. La precisión de este método, aún está bajo investigación, pero dado el interés de los investigadores a nivel mundial en el uso de los UAV en diferentes proyectos científicos puedan mejorar esta variable.

A nivel académico ya se debía pensar en que fueran estas tecnologías una herramienta más y parte de una asignatura teórico-práctica, de la mano de la fotogrametría, la topografía, por tanto, se requieren de la adquisición de estos equipos y el entrenamiento con los mismos y todo el proceso de gestión documental de la información adquirida.

Referencias

- Abellan, A., Jaboyedoff, M., Oppikofer, T., & Vilaplana, J. M. (2009). Detection of millimetric deformation using a terrestrial laser scanner: experiment and application to a rock fall event. *Nat Hazards Earth Syst Sc*, 9, 365-372.
- Agüera, F., Carvajal, F., & Pérez, M. (2011). Measuring sunflower nitrogen status from an unmanned aerial vehicle-based system and an on the ground device. *ISPRS Annals of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXVIII-1 / C2, 33 - 37, (págs. 33-37).
- Aguilar, F. J., Agüera, F., Aguilar, M. A., & Carvajal, F. (s.f.). Effects of terrain morphology, sampling density, and interpolation methods on grid DEM accuracy. *Photogrammetric Eng Remote Sensing*, 71, 805-816.
- Alizadeh, M., Ngah, I., Hashim, M., Pradhan, B., & Pour, A. (2018, doi: 10.3390/rs10060975). A Hybrid Analytic Network Process and Artificial Neural Network (ANP-ANN) Model for Urban Earthquake Vulnerability Assessment. *Remote sensing*, 10, 975.
- Baldo, M., Bicocchi, C., Chiocchini, U., Giordan, D., & Lollino, G. (2009). LIDAR monitoring of mass wasting processes: The Radicofani landslide, Province of Siena, Central Italy. *Geomorphology*, 105(3), 193-201.
- Barbarella, M., & Fiani, M. (Febrero de 2013, <https://doi.org/10.5721/EuJRS20134608>). Monitoring of large landslides by Terrestrial Laser Scanning techniques: field data collection and processing. *European Journal of Remote Sensing*, 46(1), 126-151.
- Boccardo, P., Chiabrando, F., Dutto, F., Tonolo, F. G., & Lingua, A. (2015). UAV Deployment Exercise for Mapping Purposes: Evaluation of Emergency Response Applications. *Sensors*, 15(7), 15717-15737.
- Briese, C. (s.f.). Extraction of digital terrain models. *Vosselman G, Maas HG, editors. Airborne and terrestrial laser scanning. Dunbeath: Whittles*, (págs. 135-167).
- Campos, J. (2017). *Diseño innovador se sensor para laderas sistema predictor de taludes*. Tesis

- doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Carvajal, F., Agüera, F., & Pérez, M. (2012). Surveying a Landslide in a Road Embankment Using Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, XXXVIII-1, 201-206.
- Castagnetti, C., Bertacchini, E., & Rivola, R. (2014, doi:10.1117/12.2067407). A reliable methodology for monitoring unstable slopes: The multi-platform and multi-sensor approach. *roceedings of SPIE, 9245, Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications V, 92450J.* .
- Chávez, E. J., García, A. C., Pérez, A. G., & Carreño, O. E. (2015). Uso de vehículos aéreos no tripulados para la caracterización del paisaje sumergido; Bahía Estacahuite. *Ciencia y Mar*, 51, 35-40.
- Cheng, Z., Yue, L., Peng, G., Wenlong, C., Hui, L., Yong, H., y otros. (1555-1581 de 2020, DOI: 10.1080/01431161.2019.1672904). Landslide mapping with remote sensing: challenges and opportunities. *International Journal of Remote Sensing*, 41(4).
- Choi, K., & Lee, I. (2011, DOI: 10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-247-2011). A UAV based close-range rapid aerial monitoring system for emergency responses. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-1/C22(1), 247-252.
- Chou, T., Yeh, M. L., Chen, Y., & Chen, Y. H. (2010). Disaster monitoring and management by the unmanned aerial vehicle technology. *En: Wagner W , Székely B , editores. Simposio ISPRS TC VII - 100 años ISPRS. Viena : Archivos internacionales de fotogrametría, teledetección e información espacial*, (págs. 137-142).
- Colomina, I., & Molina, P. (2014, doi: 10.1016 / j.isprsjprs.2014.02.013). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79-97.
- Concepción-Toledo, D., González-Suárez, E., García-Prado, R., & Miño-Valdés, J. (2019, [http://dx.doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2019.006\(01\)076-087](http://dx.doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2019.006(01)076-087)). Investigation methodology: Origin and construction of a doctoral thesis. *Revista Científica de la UCSA*, 6(1), 076-087.
- Costa, F. G., Ueyama, J., Braun, T., Pessin, G., Osório, F. S., & Vargas, P. A. (22-27 de julio de 2012). The use of unmanned aerial vehicles and wireless sensor network in agricultural applications. *Simposio internacional de geociencias y teledetección del IEEE (IGARSS)*. Munich, Alemania.
- Dahal, R., Hasegawa, S., Masuda, T., & Yamanaka, M. (2006). Roadside slope failures in Nepal during torrential rainfall and their mitigation. *Disaster mitigation of debris flow, slope failures and landslides, (Interpraevent 2007)*, Universal Academy Press, Tokyo, 2, 503-514.
- Fiani, M., & Siani, N. (Sep 26 - Oct 01, Available from: <http://cipa.icomos.org/fileadmin/template/doc/TURIN/277.pdf>). Comparison of terrestrial laser scanners in production of DEMs for Cetara tower. *CIPA 2005 XX International Symposium*, (pág. 2005). Torino (Italy).
- Flores, D. A., Saito, C., Paredes, J. A., & Trujillano, F. (2017). Aerial photography for 3D reconstruction in the Peruvian Highlands through a fixed-wing UAV system. *Proc. - 2017 IEEE Int. Conf. Mechatronics, ICM 2017*, 388-392.
- Garianoab, S. L., & Guzzetti, F. ((Novembre de 2016). Landslides in a changing climate. *Earth-Science Reviews*, 162, 227-252.
- Giordan, D., Manconi, A., Remondino, F., & Nex, F. (2017 de DOI: 10.1080/19475705.2017.1315619). Use of unmanned aerial vehicles in monitoring application and management of natural hazards. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(1), 1-4.
- Grenzdörffer, G. J., & Niemeyer, F. (2011). UAV-based BRDF-measurements of agricultural surfaces with PFIFFikus. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(1/C22), 229-234.
- Jaboyedoff, M., Oppikofer, T., Abellán, A., Derron, M. H., Loye, A., Metzger, R., y otros. (2012). Use of LIDAR in landslide investigations: a review. *Nat Hazads*, 61, 5-28.

- Koeva, M., Muneza, M., Gevaert, C., Gerke, M., & Nex, F. (2018, DOI: 10.1080/00396265.2016.1268756). Using UAVs for map creation and updating. A case study in Rwanda. *Survey Review*, 50(361), 312-325.
- Kraus, K., & Pfeifer, N. (Available from: <http://www.isprs.org/proceedings/xxxiv/3-w4/pdf/kraus.pdf>). Advanced DTM generation from LIDAR data. *ISPRS Archives, XXXIV-3/W4*, 23-30.
- Lin, J., Tao, H., Wang, Y., & Huang, Z. (2010, doi:10.1109/GEOINFORMATICS.2010.5567777). Practical application of unmanned aerial vehicles for mountain hazards survey. *18th International Conference on Geoinformatics*, (págs. 1-5). Beijing.
- Lucieer, A. D. (s.f.). Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography. *Progress in Physical Geography*, 38(1), 97-116.
- Lucieer, A., Robinson, S. A., Turner, D., Harwin, S., & Kelcey, J. (2012). Using a micro-UAV for ultra-high resolution multi-sensor observations of Antarctic moss beds. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXIX-B1*, 429-433.
- Lucieer, A., Turner, D., King, D. H., & Robinson, S. A. (2014). Using an unmanned aerial vehicle (UAV) to capture micro-topography of antarctic moss beds. *International Journal Applied Earth Observation Geoinformation*, 27, 53-62.
- Manfreda, S., & al., e. (2018). On the use of unmanned aerial systems for environmental monitoring. *Remote Sens.*, 10(4).
- Martha, T., Kerle, N., Jetten, V., Van Westen, C., & Kumar, K. (s.f.). Landslide volumetric analysis using cartosat-1-derived dems. *IEEE Geoscience And Remote Sensing Letters*, 7, 582-586.
- Meinen, B. U., & Robinson, D. T. (2020, DOI: 10.1080 / 01431161.2019.1597294). Streambank topography: an accuracy assessment of UAV-based and traditional 3D reconstructions. *International Journal of Remote Sensing*, 41(1), 1-18.
- Molina, P., Colomina, I., Victoria, P., Skaloud, J., Kornus, W., Prades, R., y otros. (July de 2012). Drones to the Rescue! *Inside GNSS*, 36-47.
- Molina, P., Colomina, I., Victoria, T., Skaloud, J., Kornus, W., Prades, R., y otros. (August 25 - September 1, 2012). SEARCHING LOST PEOPLE WITH UAVS: THE SYSTEM AND RESULTS OF THE CLOSE-SEARCH PROJECT. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXII Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, (págs. 441-446). Melbourne, Australia.
- Murphy, R. R., Steimle, E., Griffin, C., Cullins, C., Sala, H., & Pratt, K. (2008, <https://doi.org/10.1002/rob.20235>). Cooperative use of unmanned sea surface and micro aerial vehicles at Hurricane Wilma. *Journal of Field robotics*, 25(3), 164-180.
- Natsagdorj, E. R.-O. (2017). An integrated methodology for soil moisture analysis using multispectral data in Mongolia. *Geo-Spatial Information Science*, 20(1), 46-55.
- Nex, F., & Remondino, F. (2014, doi: 10.1007 / s12518-013-0120-x). UAV for 3D mapping applications: a review. *Applied Geomatics*, 6(1), 1-15.
- Niethammer, R., A, J., & Travelletti, J. (2010). Uav-Based Remote Sensing of Landslides. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, XXXVIII, 496-501.
- Niethammer, U. J. (2012, doi:10.1016/j.enggeo.2011.03.012). UAV-based remote sensing of the super-sauze landslide: Evaluation and results. *Engineering Geology*, 128, 2-11.
- Niethammer, U., Rothmund, S., Schwaderer, U., Zeman, J., & Joswig, M. (2011, doi: 10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-161-2011). Open source image-processing tools for low-cost uav-based landslide investigations. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 38(1C22), 161-166.
- Nikolakopoulos, K. K., & Sabatakakis, N. (2015, doi:10.1117/12.2195394). Active landslide monitoring using remote sensing data, GPS

- measurements and cameras on board UAV. *Proceedings of SPIE*, 9644, 96440E.
- Nikolakopoulos, K., Kavoura, K., Depountis, N., i Kyriou, A., Argyropoulos, N., Koukouvelas, I., y otros. (2017, DOI: 10.1080/22797254.2017.1324741). Preliminary results from active landslide monitoring using multidisciplinary surveys. *European Journal of Remote Sensing*, 50(1).
- Nissen, E., Krishnan, A. K., Arrowsmith, R., & Saripalli, S. (2012). Three-dimensional surface displacements and rotations from differencing pre- and post-earthquake LiDAR point clouds. *Geophysical Research Letters*, 39(16).
- Petley, D. (September de 2012, DOI: 10.1130/G33217.1). Global patterns of loss of life from landslides. *Geology*, 40(10), 927-93.
- Pfeifer, N., & Mandlbürger, G. (s.f.). LIDAR data filtering and DTM generation. *Shan J, Toth CK, editors. Topographic laser ranging and scanning. Principles and processing. Boca Raton (FL): Taylor and Francis*, (págs. 307-334).
- Pino, E. (2019). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. *Idesia (Arica)*, 1(75-84), 37.
- Pirotti, F., Guarnieri, A., & Vettore, A. (2013, doi: 10.5721/EuJRS20134605). State of the art of ground and aerial laser scanning technologies for high-resolution topography of the earth surface. *European Journal Remote Sensing*, 46, 66-78.
- Pratt, K. S., Murphy, R., Stover, S., & Griffin, C. (2009). CONOPS and Autonomy Recommendations for VTOL Small Unmanned Aerial System Based on Hurricane Katrina Operations. *Journal of Field Robotics*, 26(8), 636-650.
- Prokešová, R., Kardoš, M., & Medveová, A. (2010). Landslide dynamics from high-resolution aerial photographs: A case study from the Western Carpathians, Slovakia. *Geomorphology*, 101(1-2), 90.
- Puri, V., Nayyar, A., & Raja, L. (2017). Agriculture drones: A modern breakthrough in precision agriculture. *Journal of Statistics and Management Systems*, 20(4), 507-518.
- Rau, J., Jhan, J., Lob, C., & Linb, Y. (s.f.). Landslide mapping using imagery acquired by a fixed-wing UAV. *ISPRS International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-1/C22, 195-200.
- Ruiz E., M. A., & Ndomab, A. (2019). The uses of unmanned aerial vehicles –UAV's- (or drones) in social logistic: Natural disasters response and humanitarian relief aid. *Procedia Computer Science*, 149, 375-383.
- Silvagni, M., Tonoli, A., Zenerino, E., & Chiaberge, M. (2017, DOI: 10.1080/19475705.2016.1238852). Multipurpose UAV for search and rescue operations in mountain avalanche events. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(1), 18-33.
- Slob, S., & Hack, R. (s.f.). 3D terrestrial laser scanning as a new field measurement and monitoring technique. *Hack R, Azzam R, Charlier R, editors. Engineering geology for infrastructure planning in Europe: a European perspective. Berlin/Heidelberg: Springer*, (págs. 179-189).
- Solar, L., Barra, A., Herrera, G., Bianchini, S., Monserrat, O., Béjar-Pizarro, M., y otros. (2018, <https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1413013>). Fast detection of ground motions on vulnerable elements using Sentinel-1 InSAR data. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), 152-174.
- Spreafico, M. C., Perotti, L., Cervi, F., Bacenetti, M., Bitelli, G., Girelli, V. A., y otros. (2015, DOI: 10.5721/EuJRS20154835). Terrestrial Remote Sensing techniques to complement conventional geomechanical surveys for the assessment of landslide hazard: The San Leo case study (Italy). *European Journal of Remote Sensing*, 48(1), 639-660.
- Stumpf, A., Malet, J., Kerle, N., Niethammer, U., & Rothmund, S. (2013, doi:10.1016/j.geomorph.2012.12.010). Image-based mapping of surface fissures for the investigation of landslide dynamics. *Geomorphology*, 186(15), 12-27.
- Taddese B., H., & Burud, I. (2018, DOI: 10.1080/22797254.2018.1432993). Application of unmanned aerial vehicles in earth resources monitoring: focus on evaluating potentials for forest monitoring in Ethiopia. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 326-335.
- Turner, D., Lucieer, A., & De Jong, S. (s.f.). Time series analysis of landslide dynamics using

- an unmanned aerial vehicle (UAV). *Remote Sensing*, 7, 1736-1757.
- Ujike, K., & Takagi, M. (2004, Available from: <http://www.aars.org/acrs/proceeding/ACRS2004/Papers/3LS04-4.htm>). Measurement of landslide displacement by object extraction with ground based portable Lased Scanner. *Proceedings of the 25th Asian Conference on Remote Sensing*, (págs. 83-89). Chiangmai, Thailand.
- Vosselman, G., & Sithole, G. (2004). Experimental comparison of filter algorithms for bare-earth extraction from airborne laser scanning point clouds. *ISPRS Journal Photogrammetry Remote Sensing*, 1, 85-101.
- Wempen, J. M. (January de 2020). Application of DInSAR for short period monitoring of initial subsidence due to longwall mining in the mountain west United States. *International Journal of Mining Science and Technology*, 30(1), 33-37.
- Wempen, J., & McCarter, M. (2017). Comparison of L-band and X-band differential interferometric synthetic aperture radar for mine subsidence monitoring in Central Utah. *International Journal of Mining Science and Technology*, 27(1), 159-163.
- Westoby, M., Brasington, J., Glasser, N., Hambrey, M., & Reynolds, J. (2012). Structure-from motion photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314.
- Wieczorek, G., & Snyder, J. (2009). Monitoring slope movements. R. Young & L. Norby (Eds.), *Geological Society of America. Boulder, CO: Geological Monitoring*, (págs. 245-271).
- Xiang, X., & Tian, L. (2011). Method for automatic georeferencing aerial remote sensing (RS) images from an unmanned aerial vehicle (UAV) platform . *Biosyst. Eng.*, 108(2), 104-113.
- Zarco-Tejada, P., & Berni, J. (8-10 de febrero de 2012). Monitoreo de la vegetación mediante un sensor de imágenes micro-hiperespectrales a bordo de un vehículo aéreo no tripulado (UAV). *Proceedings of the EuroCOW 2012, European espacial data research (EuroSDR)*. Castelldefels, España.